



ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LOS  
EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE TALLER AGRÍCOLA DEL INGENIO SAN CARLOS S. A.

LUIS EDUARDO CASTRO HENAO

TRABAJO DE GRADO

M. SC. CARLOS ALBERTO MONTILLA M.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

Pereira, Risaralda

2020

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.1.1.ANTECEDENTES**

##### **1.1.2.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.2. OBJETIVOS**

##### **1.2.1.OBJETIVO GENERAL**

##### **1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

#### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

### **2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

### **3. ELABORACIÓN DEL PLAN MTTO RCM**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM**

#### **3.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM**

##### **3.2.1.EFFECTUAR UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD CA**

##### **3.2.2.DETERMINAR LA CRITICIDAD DE LOS SUBSISTEMAS**

##### **3.2.3.TOMA DE DECISIONES A PARTIR DEL CÁLCULO DEL NPR**

### **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y APORTES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

#### **5.2. RECOMENDACIONES**

#### **5.3. APORTES**

### **6. BIBLIOGRAFÍA**

### **7. ANEXOS**

## TABLA DE FIGURAS

- Figura 1. Proceso Esquemático de la transformación de la caña de azúcar en Azúcar
- Figura 2. Proceso Esquemático del ciclo de cultivo convencional de la caña de azúcar
- Figura 3. Estructura del departamento de mantenimiento Ingenio Sancarlos
- Figura 4. Estructura del departamento de mantenimiento CASU
- Figura 5. Tractor Agrícola
- Figura 5. Tractor Agrícola
- Figura 7. Cama baja
- Figura 8. Cosechadora de caña de azúcar
- Figura 9. Tractomula
- Figura 10. Vagón de caña
- Figura 11. Alzadora caña
- Figura 12. Motobomba Portátil
- Figura 13. Carro Cisterna
- Figura 14. Camioneta
- Figura 15. Las categorías de Gravedad o severidad
- Figura 16. Las categorías de Probabilidad de ocurrencia
- Figura 17. Peso relativo del CA.
- Figura 18. Análisis de Criticidad
- Figura 19. Visualización de Ordenes de Mtto por Equipo.
- Figura 20. Valores para la gravedad o severidad de la falla
- Figura 21. Valores para la frecuencia de la falla
- Figura 22. Valores para la Detectabilidad de la falla de ocurrencia
- Figura 23. Peso relativo del NPR
- Figura 24. Determinación de la criticidad de los subsistemas
- Figura 25. Visualización de Ordenes de Mtto
- Figura 26. Visualización de Orden de Mtto Correctivo
- Figura 27. Visualización de Orden de Mtto Preventiva
- Figura 28. Subsistemas más críticos
- Figura 29. Cadena de razonamiento lógico
- Figura 30. Toma de decisiones a partir del cálculo del NPR.
- Figura 31. Propuesta de Reestructuración de tareas de Mantenimiento
- Figura 32. Propuesta de Reestructuración global del Mantenimiento

## **RESUMEN**

En este trabajo de grado se presenta el resultado de una propuesta de aplicación de una metodología, mediante la cual al ingenio Sancarlos, del sector agroindustrial de la caña, con un programa de mantenimiento preventivo combinado con correctivo, se le propone aplicar un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con lo cual busca modificar su programa actual, simplificándolo, y haciéndole aportes de mantenimiento autónomo.

El rediseño de la función Mantenimiento busca lograr reducir la carga de trabajo de mantenimiento, sin reducir la disponibilidad de los equipos, y en el peor de los casos conservar la confiabilidad.

La metodología para la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad involucra el análisis funcional, identificación de los modos de falla (causas de las fallas), efectos de las fallas (manifestación de las fallas), jerarquización del riesgo (Criticidad), entre otros pasos. Posteriormente, como resultado de este proyecto se obtuvo un documento con un plan de acción para preservar las funciones del sistema.

Se hacen una serie de recomendaciones acerca de cambios que debe implementar la empresa, con el objetivo de dar mayor prioridad a los materiales a reparar.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El ingenio San Carlos S. A, requiere mejorar la administración de los activos críticos del área de taller agrícola, mediante la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para estos equipos; la implementación mencionada asegurará que los objetivos en cuanto al desempeño de los activos, serán alcanzados, y serán consistentes y sostenibles en el tiempo; buscando el mejoramiento de la seguridad, el cuidado del medio ambiente, mejoramiento de los rendimientos operativos y disminución de los costos totales de mantenimiento rutinario.

Mediante la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para los equipos críticos del área taller agrícola del ingenio San Carlos busca garantizar la máxima confiabilidad de los equipos analizados, entendiendo la confiabilidad como la probabilidad de que un equipo no falle durante su operación, optimizando la confiabilidad operacional de los equipos que funcionan bajo condiciones de trabajo definidas, en base a su criticidad y los posibles efectos que originaran los modos de falla.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. Antecedentes**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM (Reliability Centered Maintenance por sus siglas en inglés) es una filosofía de gestión de Mantenimiento, desde que se ha implementado ha dejado reflejar una gran cantidad de resultados positivos en distintos sectores de la industria en donde se ha aplicado, tomando como ejemplo y referencia el sector aeronáutico, energético (petrolero, nuclear, hidroeléctrico) y minero principalmente. Ahora bien, se ha demostrado que la estrategia de mantenimiento funciona y se ha querido llevar a sectores que no tengan auge y que su implementación pueda ser más sencilla, pero igualmente efectiva.

El principal problema que encuentra las industrias y el por qué se busca implementar esta metodología es principalmente la prevención, identificación y la mitigación de posibles fallas funcionales que puedan presentar los activos en distintos ámbitos de trabajo para evitar paradas no programadas, pérdidas y detenciones en la producción.

#### **1.1.2. Descripción del problema**

El área del taller agrícola del ingenio San Carlos S.A., presenta actualmente problemas debido a elevados tiempos de parada de equipos críticos, ocasionados por averías imprevistas que impiden cumplir con los planes de producción.

Actualmente el área del taller agrícola del ingenio San Carlos S.A., aplica mantenimiento preventivo y elevada cantidad de mantenimiento correctivo, generando altos costos de mantenimiento.

Se requiere revisar el plan de mantenimiento actual con el fin de optimizarlo y hacerlo más efectivo, enfocándolo hacia la confiabilidad, al mismo tiempo reduciendo costos eliminando las tareas innecesarias que no incrementan la confiabilidad operacional, por lo que es necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Desarrollar la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos críticos del área de Taller Agrícola del ingenio San Carlos S. A.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a. Recopilar información de los equipos críticos que conforman el área de Taller Agrícola del ingenio San Carlos S. A para la caracterización y jerarquización de los activos.
- b. Realizar una evaluación inicial de los equipos, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: funcionalidad, operaciones, condiciones ambientales e inocuidad.
- c. Realizar el correspondiente análisis de criticidad del Plan de Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- d. Recolectar y analizar datos de diseño, operaciones y de confiabilidad de los equipos que permitan realizar el análisis de los modos de falla y sus efectos, utilizando la técnica de FMEA (Análisis de los Modos, los Efectos, las Criticidades de las Fallas).
- e. Realizar la selección de las tareas de mantenimiento utilizando la técnica de Diagrama Lógico de Decisiones de RCM.
- f. Desarrollar la propuesta de la estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el área de Taller Agrícola del ingenio San Carlos S. A

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de los equipos críticos del área de taller agrícola del ingenio San Carlos se lleva a cabo para garantizar que en esta



empresa los recursos disponibles y los activos que allí se manejan en el área de taller agrícola sean de producción más eficiente, también evitando futuros fallos.

Lo anterior, debido a que se contemplan varios aspectos de importancia para las empresas que en la metodología de RCM son tenidos en cuenta, como son: modalidades de fallo de los activos, así como consecuencias, impactos de las fallas, criticidad, recursos necesarios, acciones que permitan mitigar los efectos de las fallas.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El ingenio Sancarlos fue fundado en 1945 por don Carlos Sarmiento Lora y doña María Cristina Palau, en tierras rurales del municipio de Tuluá, departamento del valle del cauca, Colombia, año en que decidieron adquirir nueva maquinaria para convertir el viejo trapiche o molienda panelera en un ingenio azucarero.

En los últimos dos años, bajo la administración y liderazgo de Mayagüez, reconocido como uno de los principales productores eficientes de bajo costo y clasificada como gran empresa, el ingenio Sancarlos ha logrado un desarrollo acelerado, realizando inversiones en el campo y su planta, incorporando tecnología de punta con procesos eficientes que impactan satisfactoriamente su productividad y calidad.

### Misión

Proveer bienes y servicios agroindustriales que satisfagan las necesidades y superen las expectativas de los clientes nacionales e internacionales, mediante tecnología de punta y procesos sostenibles que contribuyan al desarrollo integral de la organización, al mejoramiento de la calidad de vida y a la conservación del medio ambiente.

### Visión

Ser una empresa agroindustrial reconocida a nivel mundial por excelencia en sus actividades y por su orientación permanente hacia el desarrollo integral del ser humano.

### Valores

- **Honestidad:** Comprometerse a actuar con rectitud, integridad y transparencia.
- **Respeto:** Promover un trato digno y tolerante entre sus colaboradores. Guardar en todo momento la consideración a la dignidad humana y su entorno.
- **Responsabilidad:** Obrar con seriedad en consecuencia con nuestros deberes y acorde con nuestros compromisos.

- **Confianza:** Actuar con integridad, ética y responsabilidad para garantizar la transparencia de nuestros actos.
- **Lealtad:** Confidencialidad y respeto hacia los clientes, proveedores, empleados y accionistas.

En el 2018 alcanzó una molienda de 764 464 toneladas de caña con los cuales produjo los productos con sus siguientes calidades:

- Azúcar Blanco - NTC 611
- Azúcar Blanco Especial - NTC 2085
- Azúcar Crudo - NTC 607
- Miel Final o Melaza

La producción de azúcar está dividida en 3 procesos: campo, cosecha y fábrica.

### **Campo**

Busca producir caña de buena calidad, con base en la aplicación de las mejores prácticas posibles, y con el apoyo de nueva tecnología y maquinaria, con el fin de optimizar y aportar en cuidado de los recursos naturales.

### **Cosecha**

Suministra oportunamente la caña de azúcar para su producción según los requerimientos de fábrica; para la cosecha de caña, las labores se deben iniciar por pre-cosecha, quema, corte, alce y transporte, actividades que se realizan bajo estándares ambientales con el fin de causar el menor impacto posible a su zona de influencia y medio ambiente.

### **Fábrica**

Comprende desde la recepción en patios de la fábrica, producción del azúcar, hasta el almacenamiento y despacho del producto terminado.

Básicamente el proceso del ingenio Sancarlos (*Figura 1 y 2*) se subdivide en las siguientes:

- **Preparación Terreno:** Preparación del lote arado y nivelación con maquinaria agrícola.

- **Siembra:** Proceso de siembra con implementos agrícolas en terrenos debidamente preparados.
- **Control Malezas:** Brinda la protección del cultivo para evitar la propagación de malezas en campo.

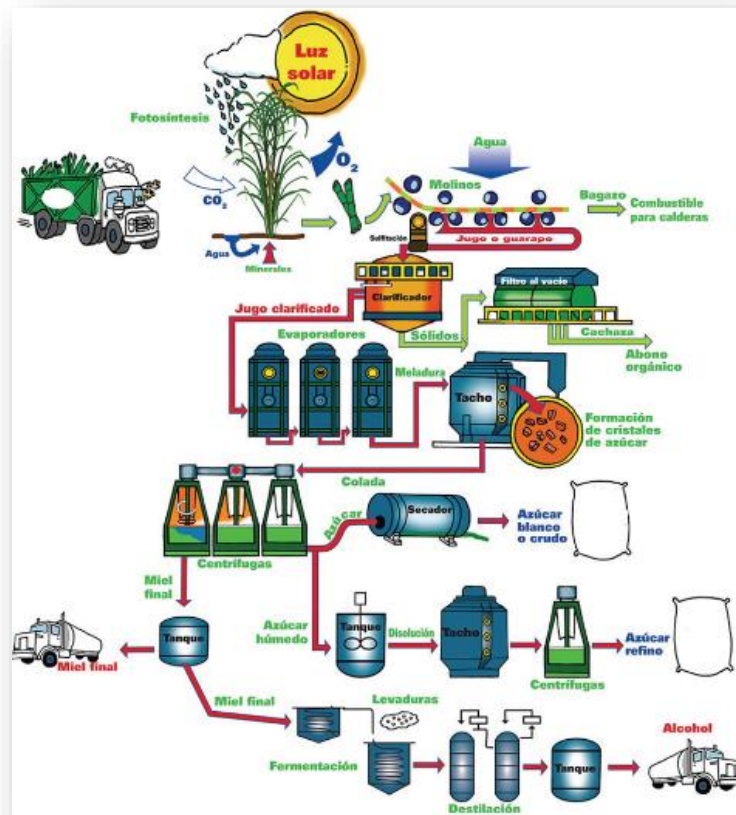
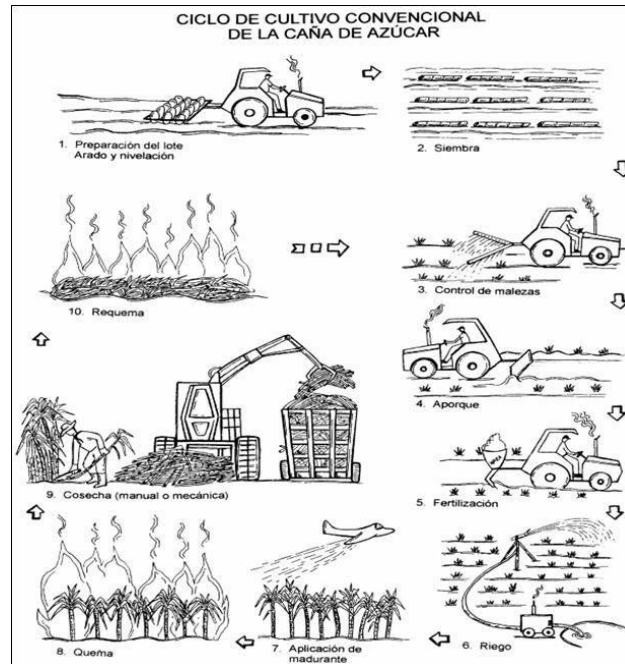


Figura 2. Proceso Esquemático de la transformación de la caña de azúcar en Azúcar.



*Figura 2. Proceso Esquemático del ciclo de cultivo convencional de la caña de azúcar.*

- **Aporque:** Por medio de la maquinaria agrícola y sus implementos se acumula la tierra en la base del tallo de la caña.
- **Fertilización:** Abonamiento del cultivo de caña para mantener e incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorando la calidad de sustrato a nivel nutricional, estimulando el crecimiento de la caña.
- **Riego:** Aportar agua a los campos por medio del suelo para satisfacer las necesidades hídricas.
- **Aplicación de madurante:** Proceso que ayuda a obtener la máxima recuperación posible de azúcar, estabilizar el contenido de azúcar, obtener una ganancia adicional en un periodo de tiempo corto, sin deteriorar el cultivo; y reducir la duración del periodo vegetativo entre cosechas.
- **Quema:** Disminución del material vegetal por medio de quemas controladas para reducir riesgo en la actividad de corte.
- **Cosecha (Manual y Mecánica):** Realizada en el tiempo adecuado, es necesario para alcanzar el peso máximo de las cañas procesables (y por lo tanto, de

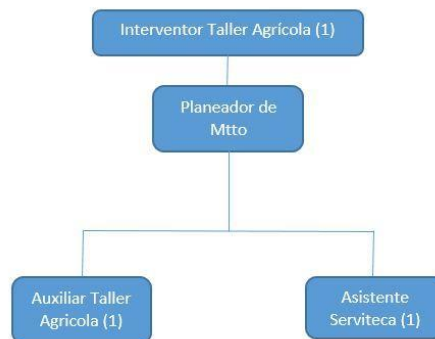
azúcar) con periodos de campo mínimas, esta actividad es realizada de forma manual por coteros y forma mecánica por la cosechadora.

- **Requema:** En este proceso se busca la eliminación de la maleza, tallo, hojas verdes y cogollo por medio de una quema controlada con la finalidad de tener el terreno en condiciones apropiadas para su nuevo ciclo de cultivación.
- **Preparación de la caña:** Recepción y almacenamiento de la caña en patio de la fábrica, alimentación de la caña, picado y desfibrado de la misma.
- **Molienda:** la fibra previamente preparada, es molida en el tándem de molinos dispuesto para tal fin, como resultado de esta operación salen: bagazo para los procesos de generación vapor y jugo diluido que es entregado a elaboración.
- **Generación de vapor:** El bagazo con un bajo contenido de sacarosa, es utilizado en las calderas especialmente diseñadas para consumir biomasa y carbón. El vapor obtenido de las calderas mueve los turbogeneradores que producen la energía eléctrica que requiere la fábrica, que está 100% electrificada y los pozos profundos que prestan servicio a los cultivos de caña
- **Purificación del jugo:** El jugo es pasado por procesos de calentamiento y es clarificado en los clarificadores de jugo, luego nuevamente calentado y de allí pasado al área de evaporación en donde será concentrado.
- **Concentración del jugo:** El jugo claro obtenido, es enviado a evaporación con el fin de realizar una concentración hasta la obtención de meladura, el proceso de evaporación consiste en la eliminación de agua del jugo claro, esta es purificada en los clarificadores antes de ser pasada a tachos.
- **Cristalización:** En los tachos se forman los cristales de azúcar por sobresaturación, los cuales quedan inmersos en la miel.
- **Centrifugación, Refinación y Secado:** En las centrifugas se recibe la masa cocida proveniente del tacho y por fuerza centrífuga se separa el cristal de la miel y se realiza el lavado del azúcar; El azúcar obtenido en las centrifugas se pasa por una secadora en contracorriente con aire caliente para reducir su humedad.
- **Empaque:** El azúcar seco se almacena en una tolva que alimenta una báscula electrónica automática empacadora de sacos de 50kg y también a una báscula llenadora de bolsas de hasta 1 ton (big-bags).

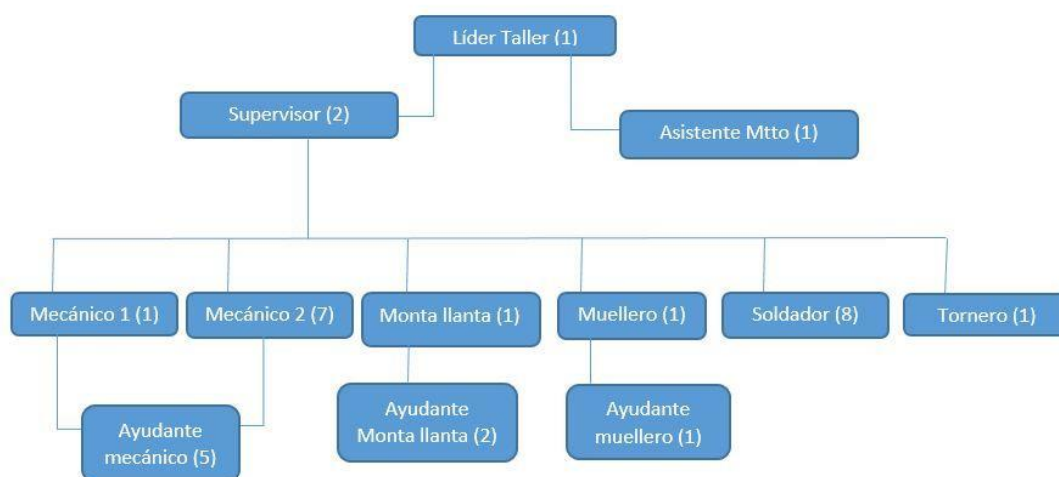
- **Almacenamiento y despacho:** Los sacos de 50 kg se almacenan en la bodega de producto terminado, en zonas demarcadas según la calidad y destino del azúcar, listos para el despacho. Los azúcares crudo y blanco para entrega a granel se almacenan en cuatro tolvas de despacho que descargan directo a los vehículos.

### Estructura del departamento de mantenimiento

El taller Agrícola cuenta con dos principales estructuras del departamento de mantenimiento, la primera estructura es conformada por el equipo de trabajo administrativo de empleados contratados directamente con el ingenio (*Figura 3*) y la segunda estructura es conformada por el personal de CASU, empresa contratista que presta su servicio en el Taller Agrícola en el área de mantenimiento (*Figura 4*).



*Figura 3. Estructura del departamento de mantenimiento Ingenio Sancarlos*



*Figura 4. Estructura del departamento de mantenimiento CASU*

### **3. ELABORACIÓN DEL PLAN MTTO RCM**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM**

La aplicación de RCM pretende determinar la criticidad de un equipo dentro del proceso productivo, mediante el análisis de criticidad, que permite definir las maquinas/equipos más críticos dentro de dichas áreas o secciones.

Preguntas acerca del equipo y su dinámica, la contestación adecuada a las preguntas listadas garantizan la comprensión y contextualización de las operaciones del equipo dentro de su entorno.

Cálculo del NPR, Una vez detectas las maquinas/equipos críticos se pasa a realizar el cálculo del NPR, entendiendo que ese cálculo implica conocer muy bien el funcionamiento y la dinámica de la planta y de los diferentes equipos.

A partir del cálculo de los NPR, se pasa a un proceso de toma de decisiones en cuanto a las acciones a tomar, las cuales pueden ir desde la aceptación del riesgo de la falla hasta el rediseño del sistema o componente, pasando por actividades de mantenimiento preventivas/predictivas, dependiendo de los valores obtenidos del cálculo de los NPR.

#### **3.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM**

##### **3.2.1. Efectuar un Análisis de criticidad CA**

El análisis de criticidad CA permite definir las áreas y secciones o grupos más críticos de la planta. Una vez definidas estas, el CA permite definir los equipos más críticos de dichas áreas o secciones.

Para el caso del presente proyecto se entró a analizar directamente los equipos más críticos del área taller agrícola del ingenio San Carlos, los equipos serán llamados sistemas.

##### **Sistema 1. Tractor Agrícola**

Vehículo especial autopropulsado que se usa para desarrollar fuerza de tiro o tracción, para las operaciones de preparación de tierras y para alar sembradoras, remolques y cosechadoras; estas operaciones las realiza a través de la “Barra de tiro” (*Figura 5*).





*Figura 5. Tractor Agrícola*

### **Sistema 2. Bulldozer**

Utilizada para movimiento de tierras, nivelación de terrenos, extendido de tierras por capa y compactación superficial. (Figura 6)



*Figura 6. Bulldozer*

### **Sistema 3. Cama baja**

Utilizada para transporte de maquinaria agrícola, cuenta con distintas capacidades de carga (10 – 2mil toneladas) por lo que puede transportar cargas pesadas y con exceso de dimensiones como cosechadoras y alzadoras de caña. (Figura 7)



*Figura 7. Cama baja*

#### **Sistema 4. Cosechadora de caña de azúcar**

Se dedica a la recolección mecanizada de la caña de azúcar tanto verde como quemada, cortando la caña para luego seccionarla en partes y elimina la materia extraña que la acompaña, para luego descargar la parte aprovechable de la caña en el medio de transporte que marcha junto a la cosechadora (*Figura 8*).



*Figura 8. Cosechadora de caña de azúcar*

#### **Sistema 5. Tractomula**

Vehículo comercial de tarea pesada que se encuentra dentro de la categoría de grandes vehículos de mercancías, contando con un motor de gran desplazamiento y varios ejes, utilizado para el transporte de caña de azúcar (*Figura 9*).



*Figura 9. Tractomula*

#### **Sistema 6. Vagón de caña**

Gracias a su estructura, es utilizado para transportar caña de azúcar, tanto en carreteras como en terrenos pedregosos (*Figura 10*).



*Figura 10. Vagón de caña*

### **Sistema 7. Alzadora caña**

Utilizada para aplicar caña azúcar, transportar y alzar la caña del suelo a los vagones, después de que esta ya fue previamente cortada (*Figura 11*).



*Figura 11. Alzadora caña*

### **Sistema 8. Motobomba Portátil**

Utilizada para abastecer de agua los cultivos de caña (*Figura 12*).



*Figura 12. Motobomba Portátil*

### **Sistema 9. Carro Cisterna**

Utilizado para suministrar gasolina a los equipos que se encuentran retirados del taller (*Figura 13*).



*Figura 13. Carro Cisterna*

### **Sistema 10. Camioneta**

Vehículo comercial de tarea liviana, utilizado para transportar mecánicos y herramientas para ejecutar tareas de mantenimiento preventivas y correctivas a los equipos que no se encuentren dentro del taller por motivos operacionales, transportar materiales que se deban retirar o entregar al almacén (*Figura 14*).



*Figura 14. Camioneta*

Un análisis de Criticidad se obtiene aplicando la fórmula 1, por áreas de la planta, posteriormente por secciones, y luego por maquinas/equipos. Como se había mencionado anteriormente se entró a analizar directamente los equipos más críticos del área taller agrícola del ingenio San Carlos. La Gravedad G debe ser definida por equipos de trabajo multidisciplinarios (producción, mantenimiento, control de calidad, salud ocupacional, seguridad industrial, división financiera, etc.). Hasta donde sea posible es pertinente conocer el patrón de falla de la maquina/equipo y su frecuencia de falla F, que idealmente debe definirse con base a estadísticas de falla. Una guía para la selección de los valores de G y F es la mostrada por las Figura 15 y Figura 16 correspondientes.

$$CA = G \times F \quad \text{Formula 1.}$$

Donde

**CA** es el valor del análisis de criticidad.

**G** es la gravedad de la ocurrencia de una falla en un área o sección.

**F** es la frecuencia de ocurrencia de la falla.

El cuadro de la figura 15. Presenta la estructura desarrollado en Excel para Las categorías de Gravedad o severidad, en la figura 16. Las categorías de Probabilidad de ocurrencia y en la Figura 17. Peso relativo del CA.

Categorías de Gravedad o severidad		
Clasificación	Efecto	Comentario
1	Ninguno	No hay razón para esperar que una falla tenga efecto alguno sobre la seguridad, la salud, em medio ambiente o la misión.
2	Muy bajo	Interrupción menos a la función de las instalaciones. Reparación de la falla puede ser realizada durante el llamado del problema.
3	Bajo	Interrupción menor a la función de las instalaciones. Reparación de la falla puede ser mas larga que el llamado del problema, pero no retrasa la misión.
4	Bajo a moderado	Moderada interrupción a la función de las instalaciones. Alguna parte de la misión puede necesitar ser reprocesada o el proceso es atrasado.
5	Moderado	Moderada interrupción a la función de las instalaciones. 100% de la misión puede requerir ser reprocesada o el proceso es atrasado.
6	Moderado a alto	Moderada interrupción a la función de las instalaciones. Alguna parte de a misión se pierde. Significativa espera para la restaurar la función.
7	Alto	Elevada interrupción a la función de las instalaciones. Alguna parte de la misión se pierde. Significativa espera para la restaurar la función.
8	Muy alto	Elevada interrupción a la función de las instalaciones. Buena parte de la misión se pierde. Significativa espera para restaurar la función.
9	Peligroso	Potencial problema de seguridad, salud o ambiental. Fallas pueden ocurrir con advertencia.
10	Peligroso	Potencial problema de seguridad, salud o ambiental. Fallas pueden ocurrir sin advertencia.

*Figura 15. Las categorías de Gravedad o severidad*



Categorías de Probabilidad de ocurrencia		
Clasificación	Efecto	Comentario
1	1 / 10000	Remora probabilidad de ocurrencia; irrazonable esperar que la falla pueda ocurrir.
2	1 / 5 000	Baja razón de falla. Similar a los diseños del pasado, tuvieron bajas razones de falla para ciertos volúmenes/cargas.
3	1 / 2 000	Baja razón de falla. Similar a los diseños del pasado, tuvieron bajas razones de falla para ciertos volúmenes/cargas.
4	1 / 1 000	Razón de falla ocasional. Similar a los diseños del pasado, tuvieron bajas razones de falla para ciertos volúmenes/cargas.
5	1 / 500	Moderada razón de falla. Similar a los diseños del pasado, tuvieron bajas razones de falla para ciertos volúmenes/cargas.
6	1 / 200	Moderada a alta razón de falla. Similar a los diseños del pasado, tuvieron bajas razones de falla para ciertos volúmenes/cargas.
7	1 / 100	Alta razón de falla. Similar a los diseños del pasado, tuvieron altas razones de falla, que causaron problemas.
8	1. / 50	Alta razón de falla. Similar a los diseños del pasado, tuvieron altas razones de falla, que causaron problemas.
9	1. / 20	Muy alta razón de falla. Mucha certeza de causar problemas.
10	1. / 10	Muy alta razón de falla. Mucha certeza de causar problemas.

*Figura 16. Las categorías de Probabilidad de ocurrencia*

Componente del CA	Clasificación	Peso
Peso relativo del Análisis de Criticidad	Bajo	1 a 10
	Medio	10 a 40
	Alto	40 a 60
	Muy alto	60 a 100

*Figura 17. Peso relativo del CA.*

Con base a la información de la Figura 15, Figura 16 y Figura 17. Se obtiene el análisis de criticidad CA de los equipos más críticos del área taller agrícola del ingenio San Carlos. En el cuadro de la figura 18 se presenta la estructura desarrollada en Excel para el análisis de Criticidad.

Análisis de criticidad CA				
Sistema	G	F	CA	Clasificación CA
Tractor Agrícola	7	6	42	Alto
Bulldozer	4	4	16	Medio
Cama baja	3	2	6	Medio
Cosechadora	8	7	56	Alto
Tractomula	3	5	15	Medio
Vagón de caña	4	5	20	Medio
Alzadora caña	7	9	63	Muy alto
Motobomba Portátil	5	6	30	Medio
Carro Sisterna	9	2	18	Medio
Camioneta	3	5	15	Medio

*Figura 18. Análisis de Criticidad*

Nota: Los datos utilizados para determinar el análisis de criticidad de los sistemas fueron consultados con el supervisor del taller agrícola y con el líder de taller, que conocen muy bien los equipos, y las frecuencias de ocurrencia de una falla y gravedad asociados a ellos; corroborando la información suministrada por medio del software SAP (Systems, Applications, Products in Data Processing) Figura 19. Visualización de Ordenes de Mtto por Equipo.

The screenshot displays the SAP PM (Plant Maintenance) 'Visualizar órdenes PM: Selección de órdenes PM' window. The interface is divided into several sections:

- Header:** 'Receptor de liquidación MAF'.
- Status orden:** Includes checkboxes for 'Pendiente', 'En tratam.', 'concluido', and 'Hist.', along with 'Esq.selec.' and a 'Dr.' button.
- Selección de órdenes:** A form with fields for 'Orden', 'Clase de orden', 'Ubicación técnica', 'Equipo' (set to 'SP10'), 'Material', 'Número de serie', 'Dat.adic.disposit.', 'Aviso', 'Pto.tbjo.responsable', 'Ce.p.pto.trabajo', 'Período' (2015/10/15 to 2020/01/13), 'Interl.', and 'Moneda'.
- Datos generales/datos de gestión:** Includes checkboxes for 'Lista objetos incl.' and fields for 'Orden principal', 'Orden superior', 'Centro planificación', 'Prioridad', and 'Autor'.
- Equipos por número de inmovilizado:** A table listing equipment with columns: 'Activo fijo', 'SN', 'Soc.', 'Equipo', and 'Denominación del equipo'. The table shows 6 entries, with the 5th entry (504992) highlighted in orange.

*Figura 19. Visualización de Ordenes de Mtto por Equipo.*

Con base a los resultados del análisis de criticidad, se definen los equipos más críticos del área taller agrícola del ingenio San Carlos:

- Tractor
- Cosechadora
- Alzadora de caña

Después de haber realizado el análisis de criticidad se procedió con el siguiente paso de la metodología del RCM.

### **3.2.2. Determinar la criticidad de los subsistemas**

Una vez detectados las maquinas/equipos críticos procede a realizarles un Análisis de Modo y Efecto de la Falla AMEF, en el cual busca determinar los subsistemas críticos, para posteriormente plantear estrategias de solución. El AMEF es una metodología que pretende determinar el Índice de Riesgo o Número de Prioridad de Riesgo NPR, aplicando el procedimiento descrito a continuación y luego aplicando la fórmula 2.

#### **Análisis AMEF**

Aplicar la metodología descrita a continuación, asegura que se respondan satisfactoriamente y en la secuencia indicada una serie de preguntas, que proporcionaran un conocimiento del proceso productivo y de la función de las maquinas/equipos, referenciados a un contexto productivo o contexto operacional:

- ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en el actual contexto operativo (Funciones principales y secundarias)?
- ¿En qué formas no puede cumplir sus funciones (fallas funcionales y potenciales)?  
Se trata de describir los modos de falla funcionales y potenciales (¿en qué condiciones del equipamiento falla?)
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?  
Es decir, definir la causa. Posteriormente clasificar las fallas en categorías o modos de falla (mecánicas, eléctricas, lubricación, instrumentación), haciendo la respectiva descripción.
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos y consecuencias de la falla)?  
Hay que recordar que efecto es diferente de consecuencia.  
Con esto se describe el efecto potencial de la falla, y surgen otras preguntas: ¿Ocurrirá parada de la producción? ¿Ocurre reducción de la producción? ¿La calidad del producto es afectada? ¿Cuáles son los daños provocados? El



responder las preguntas anteriores ayudara a determinar las consecuencias (sobre la seguridad personal, sobre el medio ambiente, sobre la producción, sobre la calidad, etc.) Y la gravedad.

- e. ¿Cuál es la Gravedad o Severidad de la falla? (Figura 20).

Valores para la gravedad o severidad de la falla		
Componente del NPR	Clasificación	Peso relativo
Gravedad de la falla (G)	Apenas imperceptible	1
	Poca importancia	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremadamente grave	9 a 10

Figura 20. Valores para la gravedad o severidad de la falla

- f. ¿Cuál es la frecuencia de la falla? (Figura 21)

Valores para la frecuencia de la falla		
Componente del NPR	Clasificación	Peso relativo
Frecuencia de ocurrencia (F)	Improbable	1
	Muy pequeña	2 a 3
	Pequeña	4 a 6
	Media	7 a 8
	Alta	9 a 10

Figura 21. Valores para la frecuencia de la falla

- g. ¿Cuál es la Detectabilidad de la falla? (Figura 22)

Valores para la Detectabilidad de la falla de ocurrencia		
Componente del NPR	Clasificación	Peso relativo
Detectabilidad (D)	Alta	1
	Alta Moderada	2 a 3
	Pequeña	4 a 6
	Muy pequeña	7 a 8
	Improbable	9 a 10

Figura 22. Valores para la Detectabilidad de la falla de ocurrencia

Una vez respondidas las preguntas anteriores, se debe calcular el NPR con la ayuda de fórmula 2. Y la Figura 23. Peso relativo del NPR

$$\text{NPR} = \text{F} \times \text{G} \times \text{D} \quad \text{Fórmula 2.}$$

Donde:

**NPR** es el número de prioridad de riesgo.

**F** es la frecuencia de ocurrencia de la falla, en un subsistema.

**G** es la gravedad de la ocurrencia de una falla.

**D** es la Detectabilidad o facilidad para encontrar la falla.

Peso relativo del NPR		
Componente del NPR	Clasificación	Peso relativo
Índice de Riesgo (NPR)	Bajo	1 a 50
	Medio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muy alto	200 a 1000

*Figura 23. Peso relativo del NPR*

Aplicando la metodología del Análisis AMEF se determinó la criticidad de los subsistemas, el cuadro de la figura 24 presenta la estructura desarrollada en Excel para la determinación de la criticidad de los subsistemas.

En la figura 24 se presenta un fragmento de la aplicación del cuadro indicado figura ubicada en el Anexo 1, se puede consultar la información completa.

Determinación de la criticidad de los subsistemas													
Sistema	Subsistema	Función	Falla Funcional	Falla Potencial	Modo de falla	Efecto	Causa	Consecuencias	Gravedad	Frecuencia	Detectabilidad	Peso relativo del NPR	Clasificación del NPR
Alzadora	Motor	Es el conjunto de piezas o elementos que sincronizados entre sí, transforman la energía calorífica desarrollada durante el proceso de combustión entre el combustible Diesel y el oxígeno el aire, en energía mecánica(rotación).	Daño de inyectores	Acumulación de agua en el deposito	Mecánico, Instrumentación	Ruido	Deterioro de deposito	No pulveriza el combustible, Pérdida parcial del rendimiento de la función	8	3	6	144	Alto

*Figura 24. Determinación de la criticidad de los subsistemas*

*Nota: Los datos obtenidos para determinar la criticidad de los subsistemas se obtuvieron con un trabajo de campo, consultando a los operarios, mecánicos, electricistas, coordinador de mantenimiento, que conocen muy bien los equipos, las fallas funcionales y potenciales asociados a ellos; corroborando la información suministrada por medio del software SAP (Systems, Applications, Products in Data Processing) Figura 25. Visualización de Ordenes de Mtto, Figura 26. Visualización de Orden de Mtto Correctivo y la figura 27. Visualización de Orden de Mtto Preventiva.*

Visualizar órdenes PM: Lista de órdenes PM										
Orden Operaciones Subtotal										
Orden	Cl.orden	Inc.extr.	ArE	Fecha liber.real	Equipo	Texto breve	Status del sistema	Cst.tot.reales	Fecha fin real	Aviso
321008188	ST01	2017/04/24	COS	2017/04/25	SP10	MTTO PARO ABRIL 2017 SP10	CERR NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC	30,028,000.82	2017/05/03	
321002003	ST01	2017/01/24	COS	2015/12/30	SP10	CAMBIAR CAJA DE CAMBIOS SP10	CERR FCAP MOVIM NLIQ PREC	26,997,000.00		100147662
321002575	ST01	2017/02/01	COS	2016/02/24	SP10	REPARAR MOTOR SP10	CERR FENA KKMP MOVIM NLIQ PREC	26,801,806.00		
321014679	ST01	2018/04/26	COS	2018/04/26	SP10	CAMBIAR BOMBA DE MARCHA SP10	LIB. FCAP MACO MOVIM NLIQ PREC	23,380,000.00		100197038
321008100	ST01	2017/04/18	COS	2017/04/18	SP10	CAMBIAR BOMBA MARCHA SP10	LIB. DMNV FCAP MOVIM NLIQ PREC	20,569,875.00		
321015699	ST01	2018/07/10	COS	2018/07/10	SP10	CAMBIO REDUCTOR TRASERO IZQUIERDO SP10	CTEC NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC	20,527,190.54	2018/07/10	100200724
321003475	ST01	2016/06/23	COS	2016/05/18	SP10	REPARAR REDUCTOR TRASERO SP10	CERR NOTI FENA MOVIM NLIQ PREC	15,620,592.35	2016/06/24	100156084
321000409	ST01	2016/01/29	COS	2015/09/04	SP10	LLANTA DELANTERA SE ESTALLO SP10	CERR FENA MOVIM NLIQ PREC	13,988,000.00		100141059
321014546	ST01	2018/10/01	COS	2018/04/19	SP10	MANTENIMIENTO PARO ABRIL 2018 SP10	CERR NOTP FCAP MACO MOVIM NLIQ PREC	12,360,440.88		100196672
321016420	ST01	2018/09/24	COS	2018/09/24	SP10	SERV DE REPARACION GENERAL DE BOMBA HIDR	LIB. KKMP MOVIM NLIQ PREC	8,950,000.00		
321022206	ST01	2019/08/13	COS	2019/08/13	SP10	CAMBIAR A COPL DE MOTOR A BOMBA - SP10	CERR NOTI MACO MOVIM NLIQ PREC	8,780,821.57	2019/09/23	100221992
321001741	ST01	2015/11/20	COS	2015/12/02	SP10	FUGA DE ACEITE BOMBA INYECCION SP10	CERR NOTI FENA KKMP NLIQ PREC	8,641,153.32	2015/12/03	100145241
321010058	ST01	2017/09/04	COS	2017/08/08	SP10	REVISAR MARCHA SP10	LIB. NOTP FCAP MACO MOVIM NLIQ PREC	8,449,973.69		100181738
321017412	ST01	2018/10/10	COS	2018/10/10	SP10	CAMBIAR BOMBA HCA GIRO DERECHO SP10	CERR NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC	8,044,574.12	2018/10/12	100206279
321016535	ST01	2018/08/24	COS	2018/09/13	SP10	SERV REPARACION TORRE BRAZO-ALZADORA CAM	LIB. KKMP MOVIM NLIQ PREC	7,960,000.00		
322004234	ST02	2018/02/12	COS	2017/12/05	SP10	MTTO FRECUENCIA 2100 HORAS ALZ CAME SP10	CERR NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC	7,483,514.67	2018/03/26	
321004290	ST01	2016/07/14	COS	2016/07/15	SP10	CONSTRUIR APILADOR SP10	CERR NOTI FENA MOVIM NLIQ PREC	7,371,205.08	2017/04/19	100159680
321005407	ST01	2016/12/26	COS	2016/10/04	SP10	CAMBIAR EMPAQUE ORBITROL SP10	CERR NOTI MOVIM NLIQ PREC	7,156,984.79	2016/12/26	100164710
321001489	ST01	2015/11/13	COS	2015/11/17	SP10	SUMINISTRO IMECOL 21 SP10 OCT-07 NOV	CERR FENA KKMP MOVIM NLIQ PREC	6,943,361.00		
321001125	ST01	2015/10/21	COS	2015/10/21	SP10	SUMINISTRO IMECOL SP10 21 SEP-07 OCT	CERR FENA KKMP MOVIM NLIQ PREC	6,844,028.00		
321013304	ST01	2018/02/12	COS	2018/02/12	SP10	SOLDAR OREJA DE LA PLUMA SP10	CERR NOTI KKMP NLIQ PREC	6,597,873.47	2018/02/11	100192710
321015560	ST01	2018/07/04	COS	2018/06/28	SP10	REVISAR FUNCION DE LEVANTE SP10	CTEC NOTI KKMP NLIQ PREC	6,574,920.24	2018/07/04	100200141
321004543	ST01	2016/08/11	COS	2016/08/01	SP10	CAMBIAR LLANTAS SP10	CERR NOTI FCAP FENA MOVIM NLIQ PREC	6,002,874.75	2016/08/11	100160919
321015626	ST01	2018/07/05	COS	2018/07/06	SP10	AJUSTAR TORN TANQUE SP10	CERR NOTI FCAP KKMP NLIQ PREC	5,926,876.61	2018/07/05	100200445
322004329	ST02	2017/12/05	COS	2017/12/05	SP10	MTTO FRECUENCIA 750 HORAS ALZ CAME SP10	CERR NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC	5,551,756.96	2018/01/18	
321003700	ST01	2016/06/26	COS	2016/06/03	SP10	MTTO REDUCTORES TRASEROS SP10	CERR NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC	5,299,888.50	2016/06/30	100156959
322006110	ST02	2019/03/13	COS	2019/03/06	SP10	MTTO FRECUENCIA 750 HORAS ALZ CAME SP10	CERR FCAP MOVIM NLIQ PREC	5,033,599.08		

Figura 25. Visualización de Ordenes de Mtto

Visualizar Orden de mantenimiento correctivo 321008188: Cabecera centr										
Orden ST01 321008188 MTTO PARO ABRIL 2017 SP10										
<p>MTTO PARO ABRIL 2017 SP10</p> <p>SE BAJO TREN TRASERO CON REDUCTORES, SE MONTARON REDUCTORES Y SE ACONDICIONAN MOTORES DE LA DOBLE, SE ACONDICIONA BARRA Y GATOS DE DIRECCION, SE BAJARON REDUCTORES DELANTEROS</p> <p>SE CAMBIARON CUNAS, RODILLOS Y SELLOS DE LOS REDUCTORES DELANTEROS</p> <p>2017/5/06</p> <p>Stat.sist. CERR NOTI FCAP MOVIM NLIQ PREC CTEC</p>										
<p>Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control</p> <p>Responsable</p> <p>Gpo.plan. FTA / 9100 TALLER AGRICOLA</p> <p>Rs.pto.tr. MECATAGR / 9250 MECANICO TALLER</p> <p>Aviso</p> <p>Costes 0.00 COP</p> <p>Cl.actv.PM MEC MECANICA</p> <p>EstadInstal 1 En funcionamien</p> <p>Dirección</p> <p>Fechas</p> <p>Inic.extr. 2017/04/24 00:00 Prioridad 1: Alta</p> <p>Fin extr. 2017/05/03 22:00 Revisión</p> <p>Objeto de referencia</p> <p>Ubic.técn. ST-01-10 ALCE</p> <p>Equipo SP10 ALZADORA CAMECO SP2254 SP10</p> <p>Conjunto</p>										

Figura 26. Visualización de Orden de Mtto Correctivo

**Visual.Orden de mantenimiento preventivo 322004234: Resumen operacione**

Orden: ST02 322004234 MTTO FRECUENCIA 2100 HORAS ALZ CAME SP10

MTTO FRECUENCIA 2100 HORAS ALZ CAME SP10

LA OPERACION 0020 NO SE CAMBIO LIQUIDO REFRIGERANTE, SE COMPLETO CON AGUA

LA OPERACION 0090 MTO EJECUTADO POR SERVICIO EXTERNO SOLPED 200117905-200117927

Stat.sist. CERR NOTI FCAP MOVN NLIQ PREC CTEC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Op.	SOp	PstoTbjo	Ce...	Cl...	Cv.mod	E...	Txt.br.v.operación	TE	Trabajo	Un	C...	Dur.	Un	CvCá	ClAct	Destinatario
0020		MECATAGR	9250	PM01		0	CAMBIAR LIQUIDO REFRIGERANTE	60		0.5 H	1	0.5 H		Calcular tra...	251200	
0030		MECATAGR	9250	PM01		0	CAMBIAR TERMOSTATOS	60		1 H	1	1 H		Calcular tra...	251200	
0040		MECATAGR	9250	PM01		0	CAMBIAR CORREA DE VENTILADOR	60		0.5 H	1	0.5 H		Calcular tra...	251200	
0050		MECATAGR	9250	PM01		0	CAMBIAR CORREA DE ALTERNADOR	60		0.5 H	1	0.5 H		Calcular tra...	251200	
0060		MECATAGR	9250	PM01		0	CAMBIAR TENSOR CORREA VENTILADOR	60		0.5 H	1	0.5 H		Calcular tra...	251200	
0070		MECATAGR	9250	PM01		0	REVISAR, REPARAR MOTOR DE ARRANQUE	60		3 H	1	3 H		Calcular tra...	251200	
0080		MECATAGR	9250	PM01		0	REVISAR, REPARAR ALTERNADOR	60		3 H	1	3 H		Calcular tra...	251200	

General Pr. Ext. Fechas Dat.real. Ampliación Catál.

Figura 27. Visualización de Orden de Mtto Preventiva

Con base a los resultados de la determinación de la criticidad de los subsistemas, Se concluye que los subsistemas más críticos de los equipos del área taller agrícola del ingenio San Carlos son los siguientes:

En la figura 28 se presenta un fragmento de la aplicación del cuadro indicado figura ubicada en el anexo 2, se puede consultar la información completa.

Subsistemas más críticos												
Sistema	Subsistema	Falla Funcional	Falla Potencial	Modo de falla	Efecto	Causa	Consecuencias	G	F	D	NPR	Clasificación del NPR
Alzadora	Motor	Daño del sistema de enfriamiento	Falta de refrigerante, fisura	Mecánico	Aumento de temperatura	Fuga, Deterioro del refrigerante	recalentamiento de motor, Perdida parcial del rendimiento de la función	8	8	4	256	Muy Alto
	Caja de velocidades	No realiza el cambio de velocidad.	Falta de lubricación	Mecánico, lubricación	Ruido, vibración	fuga, deterioro de lubricante	Perdida total del rendimiento de la función	9	6	4	216	Muy Alto

Figura 28. Subsistemas más críticos

Una vez determinado de la criticidad de los subsistemas se procedió con el siguiente paso de la metodología del RCM.

### 3.2.3. Toma de decisiones a partir del cálculo del NPR

Una vez definidos los subsistemas más críticos, procedió al desarrollo de los planes de acción para eliminar o corregir el problema potencial. Debemos responder la pregunta ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores)?

La anterior pregunta se debe responder con la ayuda de la (Figura 29). Cadena de razonamiento lógico.

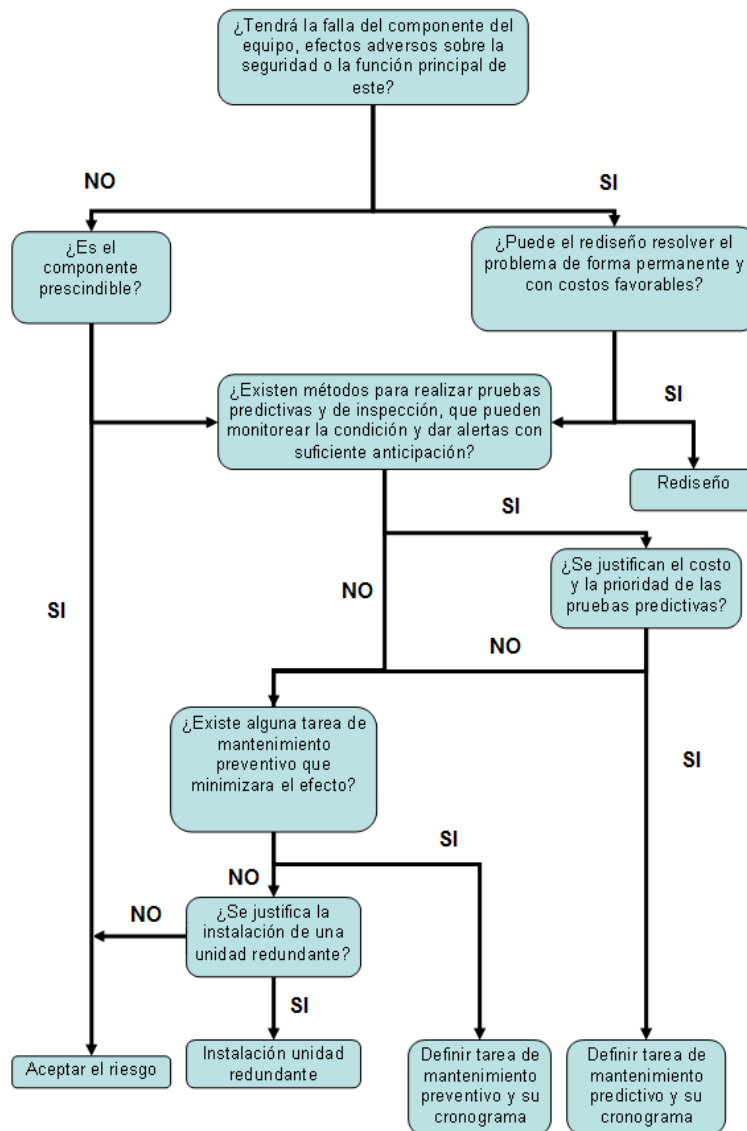


Figura 29. Cadena de razonamiento lógico

En cuanto a la determinación del modo de proceder con respecto a los escenarios de falla encontrados, llegando a cinco soluciones posibles:

**a. Aceptar el riesgo de la falla.**

Se debe de aplicar, conservando la misma filosofía original que es el mantenimiento Correctivo programado o emergente.

**b. Instalar unidades redundantes o en paralelo.**

No aplicada en nuestro caso, debido a que los sistemas que estamos analizando son equipos que están en constante movimiento, y los componentes principales de los equipos son unitarios y no es común ni procedente el contar con componentes o subsistemas de emergencia.

c. **Definir actividades de Mantenimiento Preventivo.**

En nuestro caso contamos con equipos avanzados, que tiene tableros de control que permiten monitoreo constante y la observación del desempeño diario del equipo (que sirve como base para la elaboración de rutinas de mantenimiento preventivas).

e. **Programar actividades de Mantenimiento Predictivo PdM.**

Aplicado en el control de desgaste de llantas y los análisis de aceite usado (en nuestro caso hecho por proveedores externos).

f. **Proponer rediseño del sistema.**

En el mantenimiento de maquinaria agrícola, es posible aplicar esta propuesta haciéndole llegar a los proveedores y fabricantes de los equipos, las apreciaciones que uno tiene de sus productos.

Ahora cuando tenemos la opción de escoger las marcas de los componentes de los equipos, se puede diseñar una configuración optima con componentes durables, mayores periodos de mantenimiento preventivo y mejor desempeño, bajo la justificación para su aprobación de compra.

Para el caso del presente proyecto se procedió al desarrollo de los planes de acción para eliminar o corregir el problema potencial, el cuadro de la figura 30 presenta la toma de decisiones a partir del cálculo del NPR.

En la figura 30 se presenta un fragmento de la aplicación del cuadro indicado figura ubicada en el anexo 3, se puede consultar la información completa.

Toma de decisiones a partir del calculo del NPR										
Sistema	Subsistema	Falla Funcional	Falla Potencial			Modo de falla		Efecto	Causa	Consecuencias
Alzadora	Motor	Daño del sistema de enfriamiento	Falta de refrigerante, fisura			Mecánico		Aumento de temperatura	Fuga, Deterioro del refrigerante	recalentamiento de motor, Perdida parcial del rendimiento de la función
	Caja de velocidades	No realiza el cambio de velocidad.	Falta de lubricación			Mecánico, lubricación		Ruido, vibración	fuga, deterioro de lubricante	Perdida total del rendimiento de la función
Sistema	Subsistema	Falla Funcional	G	F	D	NPR	Clasificación del NPR	Acción desarrollada o decisión tomada		Contemplado en
Alzadora	Motor	Daño del sistema de enfriamiento	8	8	4	256	Muy Alto	Definir actividades de Mantenimiento Preventivo		Programa MP
	Caja de velocidades	No realiza el cambio de velocidad.	9	6	4	216	Muy Alto	Definir actividades de Mantenimiento Preventivo		Programa MP

*Figura 30. Toma de decisiones a partir del cálculo del NPR*

Después de la toma de decisiones a partir del cálculo del NPR para cada falla funcional se presenta propuesta de Reestructuración de tareas de Mantenimiento con la aplicación de Mantenimiento Preventivo.

Cabe anotarse un enfoque de trabajo con Mantenimiento Preventivo, con 69 tareas de Mantenimiento Preventivo (ejecutadas por diferentes frecuencias, con el compromiso de recurso Humano y físico), correspondientes a la atención de las 69 causas de la falla funcional en estudio, sin embargo, con la aplicación de RCM

ocurrió una reducción significativa de la carga de trabajo de Mantenimiento debida al Mantenimiento Preventivo, tal como lo muestra el cuadro de la figura 31.

Antes de la propuesta RCM			Después de la propuesta RCM		
Causas	Acción ó decisión	Tipo Mantenimiento Aplicado	Causas	Acción ó decisión	Tipo Mantenimiento Aplicado
3	Revisión conductir	Mantenimiento Autónomo	14	Revisión conductir	Mantenimiento Autónomo
69	Mtto por frecuencia de horas	Mantenimiento Preventivo	39	Mtto por frecuencia de horas	Mantenimiento Preventivo
9	Aceptar el riesgo de la falla	Mantenimiento Correctivo	20	Aceptar el riesgo de la falla	Mantenimiento Correctivo
6	Programar actividades de Mantenimiento Predictivo	Programa PdM	14	Programar actividades de Mantenimiento Predictivo	Programa PdM
87			87		

*Figura 31. Propuesta de Reestructuración de tareas de Mantenimiento*

*Nota: Los datos obtenidos para determinar el plan de acción antes de la propuesta de RCM, se sacaron consultando al supervisor del taller agrícola y al líder de taller, que conocen muy bien la estructura de tareas de Mantenimiento, los equipos, las causas de falla y el tipo de Mantenimiento que se aplica.*

Para poder implementar el RCM propuesto, el programa original de Mantenimiento quedo reestructurado acorde a la figura 31 de manera resumida.

Mantenimiento	Actividades principales
Preventivo	Rutina de alistamiento, preferiblemente diaria (Hecha por mecánicos).
	Mantenimiento por frecuencia de horas determinadas para cada sistema.
Autónomo	Formato de inspección antes de salir del Taller Agrícola (Preferiblemente diaria) y durante el uso de la Maquina (Labor Proactiva).
Predictivo	Análisis de aceite en uso.
	Análisis de combustible
	Control desgaste llantas.
Correctivo Programado	Tareas estandarizadas en tiempos y procedimientos.

*Figura 32. Propuesta de Reestructuración global del Mantenimiento*



#### **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con la implementación de la estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, se definió la criticidad de cada sistema de acuerdo con los parámetros más importantes en el proceso de preparación de terreno, siembra, control de malezas, fertilización, riego, cosecha y transporte de la caña de azúcar.

El tractor agrícola, la alzadora de caña y la cosechadora de caña se encuentran en una criticidad alta y muy alta, estos resultados son lógicos de acuerdo con la exigencia requerida por estos equipos y al proceso de producción, dado que son equipos que afectan el rendimiento de la producción debido a el papel tan importante que tienen en él, cuentan con una frecuencia de falla y costos de mantenimiento relativamente altos a comparación de los demás equipos que presentan una criticidad baja y media.

Para disminuir la criticidad de cada sistema se preparó el desarrollo de un plan de acción en cada subsistema, con su correspondiente acción a desarrollar para eliminar o corregir el problema potencial con la finalidad de disminuir la criticidad de los sistemas.

La información recopilada de la maquinaria agrícola, sumando a los datos obtenidos sirven de base para planear las tareas de mantenimiento acordes con las necesidades reales, distribuyendo en una forma más eficiente el personal técnico de mantenimiento, reduciendo costos y optimizando presupuestos asignados al Taller Agrícola.

Lo mencionado en el párrafo anterior se evidencia en la propuesta de Reestructuración de tareas de Mantenimiento y Reestructuración global del Mantenimiento, cumpliendo con el objetivo de reducir significativamente la carga de trabajo de mantenimiento, sin reducir la disponibilidad de los equipos, mejorando a su vez la confiabilidad y con el mismo personal operativo.



## **5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y APORTES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

Se estableció una metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los equipos más críticos de Taller Agrícola del ingenio Sancarlos, donde se obtuvieron resultados favorables dado que se reconoció en primer lugar el estado en que se encuentran los equipos, su criticidad e identificando de las fallas funcionales para determinar la toma de decisiones en el plan de acción.

En el transcurso del proyecto se recopiló información de los equipos en general que conforman el área de Taller Agrícola, enfocándose en los equipos más críticos evaluados bajo el correspondiente análisis de criticidad.

Se realizó el análisis de los modos de falla y sus efectos, utilizando la técnica de FMEA (Análisis de los Modos, los Efectos, las Criticidades de las Fallas) con base a la recolección y análisis de datos de diseño, operaciones y de confiabilidad de los equipos.

Con los subsistemas se tuvieron resultados que permitieron la identificación en detalle del sistema, también permitió la caracterización tanto de dichos componentes como de los modos de falla para el desarrollo del plan de mantenimiento, cabe resaltar que este es un planteamiento inicial, es de continuar con el proceso, ejecutar las actividades en el plan de acción, realizar un seguimiento constante, evidenciar resultados y retroalimentar.

### **5.2. RECOMENDACIONES**

Hay mucho que aprender de las personas más veteranas quienes han cometido errores, han alcanzado las metas que se propusieron, aprovechar sus conocimientos y aportes fueron de gran ayuda para la elaboración de este proyecto.

### **5.3. APORTES**

En el transcurso de la elaboración del presente proyecto se evidenció en los equipos críticos específicamente en el sistema eléctrico fallas funcionales por elementos comunes, obteniendo un número de prioridad de Riesgo muy alto. Lo anterior debido a que no se realiza un mantenimiento autónomo y preventivo más riguroso debido a diferentes factores, ocasionando fallas funcionales que deshabilitan el equipo en la producción.

Se recomienda analizar el plan de acciones contemplado en el mantenimiento Correctivo que se realiza, debido a que es muy básico, se reemplaza el material dañado y se envía a reparar por empresas externas. Pero en caso que no se tenga el material de stand by en el almacén deshabilita el equipo y dando como única opción esperar que la empresa externa repare el material dañado.

Se sugiere dar mayor prioridad a estos materiales a reparar, realizando su correspondiente arreglo dentro del Taller Agrícola por medio de los electricistas que están en la capacidad de una solución más rápida.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- 6.1. Montilla, C. A. (2016). Fundamentos de Mantenimiento Industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira
- 6.2. Departamento de Mantenimiento Ingenio Sancarlos S. A.

## **7. ANEXOS**

- 7.1. Determinación de la criticidad de los subsistemas
- 7.2. Subsistemas más críticos
- 7.3. Toma de decisiones a partir del cálculo del NPR